

Aus der Prothetischen Abteilung (Leitung: Prof. Dr. F. Jung)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz
(Direktor: Professor Dr. Dr. M. Herrmann)

EINFLUSS DES MUFFELWERKSTOFFES AUF DIE PASSGENAUIGKEIT ZAHNÄRZTLICHER GÜSSE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes-Gutenberg-Universität
zu Mainz

vorgelegt von
Zahnarzt DIETER KLUMPP
aus Pforzheim
1959

Aus der Prothetischen Abteilung (Leitung: Prof. Dr. F. Jung)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz
(Direktor: Professor Dr. Dr. M. Herrmann)

EINFLUSS DES MUFFELWERKSTOFFES AUF DIE PASSGENAUIGKEIT ZAHNÄRZTLICHER GÜSSE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes-Gutenberg-Universität
zu Mainz

vorgelegt von
Zahnarzt DIETER KLUMPP
aus Pforzheim
1959

Dekan: Prof.Dr.H.Leicher

Referent: Prof.Dr.F.Jung

Tag der mündlichen Prüfung:

29. April 1959

Datum des Diploms

29. April 1959



Meinen Eltern



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Problemstellung

Vor reichlich 50 Jahren wurde im zahnärztlichen Laboratorium das Metallgussverfahren entwickelt. Es hat massgeblich zur allgemeinen Anwendung des Kronenersatzes und der dental getragenen Prothesen beigetragen und in jüngerer Zeit das Eingliedern dental und gingival getragener Prothesen überhaupt erst ermöglicht. Dabei konnten die in der allgemeinen Technik üblichen Verfahren wegen der gänzlich anderen Bedingungen nicht einfach übernommen werden. Eingehende Untersuchungen waren nötig, um die gestellten Forderungen zu erfüllen.

Die beim Giessen auftretende Kontraktion während der Abkühlung des Gussmaterials erwies sich als äusserst ungünstig, da die Passgenauigkeit darunter leidet.

Es führte soweit, dass es oft unmöglich war, das fertige Gußstück auf das Ausgangsmodell oder den Zahn zu setzen.

Man konnte sich dann nur durch Beschleifen des fertigen Gußstückes an den Innenflächen helfen. Als Präzisionsguss konnte dieses Verfahren nicht bezeichnet werden.

Aus diesem Grund haben sich zahlreiche Forscher mit dem zahnärztlichen Guss und seinen Fehlermöglichkeiten befasst. TRURNIT (25) z.B. führte die Kontraktion des Goldes beim Giessen 1. auf die Volumenminderung während des Erstarrungsintervalls und 2. auf die Kontraktion während der Abkühlung von Erstarrungs- auf Mundtemperatur zurück. Ausserdem machte sich auch die Kontraktion des

Wachsmodells beim sogenannten direkten Abdruckverfahren, d.h. beim Modellieren des zu giessenden Stückes im Munde des Patienten, störend bemerkbar. Diese Kontraktion kann man umgehen, indem man nach TRURNIT das Wachsmodell nach Herausnehmen aus dem Munde bei 30°C einbettet, oder indem man sich des indirekten Abdruckverfahrens bedient. Im folgenden soll diese Wachscontraktion ausser Acht gelassen werden. TRURNIT schlug ferner vor, den schon von der Gussgusstechnik her bekannten sog. "verlorenen Kopf" auch auf unser Gebiet zu übernehmen. Der verlorene Kopf hat dabei die Aufgabe, als Schwundreservoir zu dienen (Spanner (22)). Zum möglichst vollständigen Ausgleich der weiteren Kontraktion während der Abkühlung des Gussmaterials bediente man sich im Laufe der Zeit verschiedener Methoden. Ganz zur Zufriedenheit gelöst ist diese Frage jedoch bis heute noch nicht. Die Abkühlungskontraktion beträgt für die gebräuchlichen Gusslegierungen in linearem Maßstab 1,5 - 1,6 %, und dieser Fehler ist für den Präzisionsguss untragbar. Doch man kann durch die Wahl einer geeigneten Einbettungsmasse, die sich beim Vorwärmen expandiert, die Gusskontraktion weitgehend kompensieren. Jede Einbettungsmasse hat zwei Grundbestandteile: Quarz bzw. Cristobalit und Gips. Quarz hat eine lineare thermische Expansion von 1,4% bei 600°C . Cristobalit, eine besondere Modifikation von Quarz mit bedeutend stärkerer Ausdehnung, erreicht bereits bei 400°C 1,6% Längenzunahme. Gips dagegen hat eine sehr geringe thermische Ausdehnung, die bei 150°C ihren Höhepunkt mit 0,15% erreicht. Bei weiterer Erwärmung zieht sich das

Material sogar wieder zusammen: Die Kontraktion beträgt bei 550°C 1,9 %.

Gips ist als Bindemittel unentbehrlich. Deshalb wählte man für die Einbettungsmasse die günstigsten Verhältnismerte zwischen Gips und Cristobalit bzw. Quarz.

Schon ein geringer Gipsgehalt erniedrigt aber die thermische Expansion einer Einbettungsmasse so stark, dass die Kontraktion des Goldes bei der Abkühlung nicht vollkommen ausgeglichen werden kann. Um dies zu erreichen, macht man sich die sog. Abbindeexpansion (oder Kaltexpansion) zunutze.

Jede Einbettungsmasse dehnt sich beim Abbinden aus.

Ursache dafür ist der Gips, der bei Erhärtung Wasser aufnimmt und sich dabei infolge von Umkristallisationsvorgängen ausdehnt. Diese sogenannte Abbindeexpansion reicht - je nach Zusammensetzung der Einbettungsmasse - von kaum messbaren Werten bis zu 1%. Durch Addition von Abbindeexpansion und thermischer Expansion der Einbettungsmassen erreicht man eine annähernde Kompensation der Goldkontraktion. Die Einbettungsmasse "Duroterm" hat z.B. in einer Dimension eine Abbindeexpansion von 0,9% und eine thermische Expansion von 0,7%, was zusammengekommen gerade die zur Aufhebung der Goldkontraktion notwendigen 1,6 % ergibt. Trotzdem erlangt man durch einfaches Einbetten in einer solchen Masse immer noch keine absolute Passgenauigkeit. Als Ursache dessen kann man annehmen, dass die Expansion in einem starren Gusszylinder behindert

dert wird. Durch einen Metallring kann sowohl die Abbindeexpansion als auch die thermische Ausdehnung der Einbettungsmasse ungünstig beeinflusst werden. Deshalb wurde schon recht frühzeitig die zweiteilige Einbettung empfohlen. Dabei wird das Wachstmodell zunächst mit einer Schicht Einbettungsmasse umkleidet. Dieser "Kern" bleibt bis zur Abbindung frei stehen, so dass die Einbettungsmasse ohne Behinderung allseitig expandieren kann. Anschliessend erfolgt dann die Einbettung in die Gussmuffel.

Am sichersten würde eine Behinderung jeglicher Expansion vermieden, wenn man den metallischen Gussring überhaupt wegliesse. Im allgemeinen wird jedoch darauf ungern verzichtet, da die Gußform hierdurch gegen mechanische Insulte jeder Art besser gesichert ist.

Literaturübersicht

Über den Einfluss des Muffelwerkstoffs auf die Passgenauigkeit von Güssen sind in der Fachliteratur mehrere Arbeiten zu finden, die im folgenden kurz zusammengefasst werden:

Ziemlich zu gleicher Zeit, aber unabhängig voneinander, kamen HAN (12) und WEISS (27) aufgrund recht einfacher Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass ein Metallrohr als Gussring unbrauchbar ist und machten verschiedene Verbesserungsvorschläge. HAN hielt den metallenen Gussring als unüberwindbares Hindernis für die Abbindeexpansion der

Einbettmasse. Er beweist, dass bei Verwendung eines metallenen Gußringes der Hohl- bzw. mit Wachs ausgefüllte Raum im Innern der Masse trotz ihrer Expansionsfähigkeit beim Abbinden nicht grösser, sondern kleiner wird. Wenn er dagegen einen Papierzylinder verwendet, so vergrößert sich der Hohlraum beträchtlich. Der Gebrauch eines Metallzylinders müsse daher unbedingt vermieden werden. Er empfiehlt als Mittel der Wahl den Papierzylinder, der den gleichen Zweck erfülle, die Abbindeexpansion hingegen gewährleiste. WEISS stellte ebenfalls fest, dass die Abbindeexpansion im metallenen Gussring sich nach innen auswirken müsse. Die gewünschte, mit einer Vergrößerung der Hohlform verbundene Expansion nach aussen findet er, wenn zwischen die starre Metallwand des Gussringes und die abbindende Masse ein nachgiebiges Medium gebracht wird. Hierzu verwendet er eine zwei- bis dreischichtige Lage von dickem Crepepapier als Innenauskleidung der Muffel. Auch FABIAN (4) hält die Gusstechnik mit dem Gusszylinder der üblichen Form für überholt, möchte jedoch den Metallring nicht grundsätzlich verbannen. Deshalb versieht er die Metallmuffel in Höhe der Wachsform an vier gegenüberliegenden Stellen mit runden Fenstern von mindestens 1,4 cm Durchmesser. In Amerika empfiehlt SCHEU (20) einen Wachspapierring als Gussmuffel. Um die Abbindeexpansion ungehindert zu ermöglichen, verwenden v. LEDNICZER (17) einen Gummifingerling und FLAUMENHAFT (5) ein Gummirohr mit abnehmbaren Gummiboden zum Einbetten. Diese Untersuchungen liessen

alle die thermische Expansion der Einbettmasse unberücksichtigt, obwohl schon damals die Amerikaner TAYLOR, PAFFENBARGER und SWEENEY (23) darauf hinwiesen, dass die thermische Expansion cristobalithaltiger Massen grösser ist als die von Metallringen. Sie forderten daher, Asbestpappe als Zwischenlage zu verwenden, um eine ungehinderte Expansion der Einbettmasse zu gewährleisten. Asbest wurde gewählt, weil ein feuerfestes Material erforderlich ist. (Den Forschern des "Bureau of Standards" wird die Priorität der Verwendung eines Asbestfutters zugeschrieben. Allerdings wurde es von ihnen nur zur Sicherstellung einer freien Abbindeexpansion verwendet.)

GERLACH (7) wählte einen andern Weg: Damit die Gussmuffel der hohen thermischen Expansion der Einbettmasse folgen kann, entwickelte er eine nachgiebige, aus zwei Teilen zusammensetzbare und verriegelbare Kupfermuffel, die eine Volumenbewegung der Einbettmasse mitmachen konnte.

DANZ (2) und RIGBERS (19) verwendeten zum Guss eine Muffel aus Nickel, da dieses Material fast denselben thermischen Ausdehnungskoeffizienten hat wie ihre Einbettmasse. DANZ gab diesen für Nickel mit $13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, für ihre verwendete Einbettmasse mit $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ an.

GEIER (6) erwähnt als Gusszylinder eine dickwandige Schamottemuffel. Die grobkörnige, poröse Struktur dieses Materials soll der Einbettmasse ausreichende Expansionsmöglichkeit bieten können. Allerdings gibt er gleich-

zeitig zu, sich - anhand rein praktischer Beobachtungen - kein entscheidendes Urteil erlauben zu können.

LANGER (16) gibt eine weitere Modifikation der Einbettung an: Er umgibt das Wachsmo-^{del} mit einer dickeren Schicht Einbettmasse, so dass der Kern fast den Innendurchmesser der Muffel hat. Dann wird die Muffel etwa 1/2 cm hoch mit dick angerührter Einbettmasse gefüllt, der trockene Kern daraufgesetzt und mit einer weiteren Schicht Einbettmasse bedeckt. Der Kern ist also nur von oben und unten festgehalten, während der grösste Teil seiner Oberfläche frei liegt und unbeschränkte Expansionsmöglichkeit besitzt.

Einwirkungen von seiten des Gussringes glaubt RAU (18) entgegen der Annahme von HAN widerlegen zu können. Er zeigt anhand von horizontal und vertikal eingebetteten Vierkant-Stäben, dass bei zweizeitiger Einbettung keine merklichen Unterschiede in der Länge auftreten. Damit schliesst er eine verstärkte, aber nur nach oben und unten gerichtete Expansion der Einbettmasse aus, die durch eine Behinderung von seiten des starren Gussringes bedingt wäre. Vielmehr beweist er, dass völlig unabhängig von der Lage in der Muffel grundsätzlich in der Breite der Stäbe bedeutend grössere Schrumpfungswerte sichtbar werden als in der Länge, wofür er die Oberflächenspannung verantwortlich macht. Er geht sogar soweit zu behaupten:

"....dass die Erreichung eines zum Wachso-^bjekt

identischen Gußstückes oder auch nur eines ähnlichen Objektes ein reines Zufallsergebnis darstellt, nämlich insofern, als dann andere Faktoren, die beim exakten Arbeiten auszuschalten wären, durch Zufall die Einformung in dieser Richtung beeinflusst hätten."

Die maximalen Expansionswerte der Einbettmassen, die von den Herstellern angegeben werden, erreicht man nur, wenn man eine dichte Mischung verwendet. Die Bedeutung der dichten Mischung wird zum erstenmal in der Arbeit von VOLLAND und PAFFENBARGER (zit. aus BONSACK (1)) erwähnt. THIELEMANN (24) und DANZ (2) vertreten die Ansicht, dass mit Zunahme der Dichte der Einbettmasse auch ihre Expansion grösser wird. GEPLACH (8) hat dies ebenfalls überzeugend nachgewiesen. HERING (13) stellt anhand seiner Untersuchungen fest, dass der Verdichtungsgrad der Einbettmasse die Schwankungsbreite beeinflusst:

"...Es ist unmöglich, die Manipulation beim Verdichten des Kerns durch Aufstäuben und Einriffeln von trockenem Einbettmassepulver immer gleichmässig vorzunehmen..."

Versuche

Wie aus der Fachliteratur ersichtlich ist, wurde dem Muffelwerkstoff schon mehrfach eine gewisse Bedeutung beigemessen, ohne dass jedoch genauer darauf eingegangen wurde. Die folgenden Untersuchungen sollen daher einen Teil zur Klärung der Frage beitragen, welchen Einfluss der Muffelwerkstoff und die Art der Einbettung auf die Passgenauigkeit zahnärztlicher Güsse ausübt.

A. Muffelwerkstoffe

Zur Untersuchung gelangten folgende Muffelwerkstoffe:

Messing Ms 63	{ Ms }
Kupfer	{ Cu }
Remanit 1880 ST	{ Re }
St45.8	{ Fe }

Ms 63 ist die weitaus gebräuchlichste Messinglegierung, aus der auch Halbfabrikate wie Rohre etc. hergestellt werden. Kupfer ist in seinen Eigenschaften weitgehend bekannt. Hier sei nur auf seine ausgeprägte Oxydationsempfindlichkeit bei höheren Temperaturen hingewiesen. Remanit 1880 ST ist ein hitze- und säurebeständiger Stahl, der u.a. zur Herstellung der Gussringe für die DEGUSSA - Tiegfelschleuder verwendet wird. Er neigt erst bei Temperaturen über 800°C zur Zunderung. St 45.8 ist ein Stahl mit niedrigem C-Gehalt, der demnach dem Weicheisen ähnlich ist, leicht zündert und gut verformbar ist. Ursprünglich war beabsichtigt, im Rahmen dieser Arbeit an Stelle von St 45.8 reines Weicheisen zu verwenden. Das war aber nicht möglich, weil aus Weicheisen

kein gezogenes Rohr von dem notwendigen Durchmesser und der gewünschten Wandstärke hergestellt wird, und geschweisste oder gar gelötete Metallringe keine Gewähr für exakte Messergebnisse bieten.

Sämtliche Gussmuffeln hatten einen Durchmesser von 25 mm und eine Wandstärke von 1 mm und waren aus nahtlosen Rohren hergestellt. Diese vier Muffelwerkstoffe wurden gewählt, da sie z.T. unterschiedliche lineare thermische Ausdehnungskoeffizienten haben (s.Tabelle 1)
Es soll geprüft werden, ob der Muffelwerkstoff mit dem grössten Ausdehnungskoeffizienten der expandierenden Einbettmasse den geringsten Widerstand entgegengesetzt und infolgedessen die am besten passenden Güsse ergibt.

Tabelle 1

Werkstoff	Mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient $\cdot 10^6 / ^\circ\text{C}$ für d.Messbereich 20-700°C	Lineare thermische Expansion in % von 20-700°C
Messing (Ms 63)	22	1,5
Kupfer	19	1,33
Remanit	19	1,33
St 45.8	15	0,98

Die Werte sind entnommen aus:

- 1.) "Messing" DKJ 1953
- 2.) Gmelins Handbuch der anorg.Chemie, System 60 (Kupfer) 1955
- 3.) Mannesmann-Werkstoffblatt Nr. 710
- 4.) Mannesmann-Werkstoffblatt Nr. 131

B. Die Einbettungsmasse

Zum Einbetten wurde die Einbettmasse E 316 Universal der Firma Dentaureum verwendet, eine Masse von grosser Härte, die für alle vorkommenden Gussarbeiten wie Inlays, Halb- und Vollkronen sowie Modellgüsse von skelettierten und totalen Prothesen angewendet werden kann. Vom Hersteller angegebene Werte sind für die Abbindeexpansion 0,35 % und für die thermische Expansion bei 700°C 0,80%. (Bild 1)

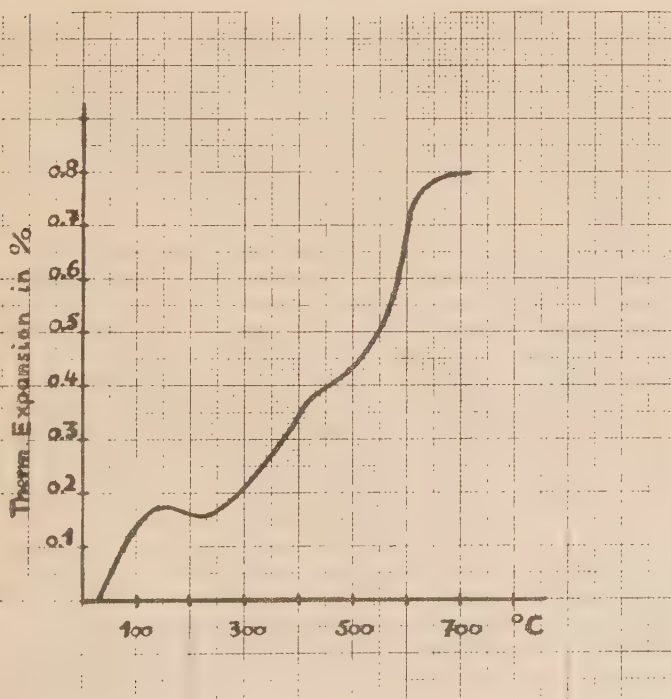


Bild 1 : Thermische Expansionskurve von E 316

Da aber, wie schon oben angeführt, die Grösse der Expansion von der Verdichtung der Masse abhängt, wäre es wünschenswert gewesen, aus den Angaben des Herstellers das genaue Mischungsverhältnis der bei seinen Expansionsmessungen verwendeten Masse entnehmen zu können. Dies war leider nicht möglich. Deshalb wird hier noch auf eine andere ausführlichere Angabe über E 316 (HEHRING, S.8) zurückgegriffen:

<u>Mischungsverhältnis</u>	<u>Gesamtexpansion bei 700°</u>
10 ccm H ₂ O : 30-35 g Pulver	1,2 %
10 ccm H ₂ O : 40-50 g Pulver	1,5 %

C. Das Gussmaterial

Die nach dem Übergang vom flüssigen in den festen Zustand bei der folgenden Abkühlung auftretende Kontraktion des Gussmaterials, die Schwindung, ist abhängig von verschiedenen Faktoren, wie Form und Dicke des Gussobjektes, Werkstoff der Gussform, in die das flüssige Material gebracht wird und dergl. So werden z.B. für Sand- und Kokillenguss verschiedene Kontraktionswerte angegeben. Schliesslich hängt die Schwindung nicht unbedeutend ab von der Zusammensetzung des Gussmaterials, d.h. von der Art und Menge der verschiedenen Bestandteile einer Legierung.

Für die folgenden Versuche wurde die Gusslegierung "Degulor M" der Firma DEGUSSA verwendet. Diese Legierung wurde hierbei für besonders geeignet gehalten, denn ausser der Dünnflüssigkeit ihrer Schmelze und der daraus folgenden leichten und sicheren Verarbeitungsmöglichkeit weist

sie eine besonders grosse Härte auf. Durch diese Härte war nämlich eine grössere Sicherheit für die Genauigkeit der verschiedenen Proben gegeben, denn ein Gußstück aus einer harten Legierung lässt sich beim Ausbetten nicht so leicht deformieren oder verletzen wie eines aus einer weicheeren Legierung. Die Schwindung von Degulor M wird von der Degussa mit ca 1,5 % angegeben.

D. Probenform

Als Prüfkörper wurde die Ringform gewählt, da diese als strengstes Kriterium gewertet werden muss. Als Ausgangsmodell dieser Ringe diente ein Kegelstumpf aus Stahl mit einem grösseren Sockel, dass sich eine scharfe, rechtwinklige Stufe von 1 mm Breite ergab. (s. Bild 2)

Bild 2



Auf diesen Stumpf wurde nun aus 3-Schichten 2,4 mm starkem rosa Kerr-Gusswachs eine Kappe mit einer Wandstärke von 1,2 mm modelliert. (s. Bild 3)

Bild 3



Das Wachs wurde im Wasserbad bei 50°C plastisch gemacht, ringförmig um den Stumpf herumgelegt und nur an der dünnen Nahtstelle mit dem heissen Wachsmesser verschweisst. Genau so wurde auch der aus ebenfalls 3 Wachsplattenstärken bestehende Deckel aufgebracht. Es wurde dann noch ein Gusskanal aus vorgepresstem Wachsdraht mit rundem Querschnitt und einem Durchmesser von 2,5 mm angebracht, der infolge seiner Dicke gleichzeitig auch die Funktionen eines verlorenen Kopfes übernahm. Das Wachs konnte bei diesen Versuchen aus Gründen der Genauigkeit nicht einfach auf das Stahlmodell in flüssigem Zustand aufgeschwemmt und nach Erstarren, soweit im Überschuss vorhanden, wieder abgeschabt werden. Denn erstens erfährt das Wachs, je stärker es erwärmt und erweicht wird, eine umso grössere Kontraktion beim Abkühlen, die sich bei möglichst genau gewünschten Modellen störend auswirken würde. Und zweitens wurde in Vorversuchen festgestellt, dass die Passgenauigkeit von der Wandstärke abhängt. Es ergaben sich bei gleichen Einbettungs- und Gussbedingungen und variierten Wandstärken der modellierten Kappen beachtliche Unter-

de im Paßsitz der Gußstücke: Die Kappen mit geringster Wandstärke zeigten die grösste Passgenauigkeit, d.h. wiesen, auf das Stahlmodell aufgesetzt, den geringsten Spalt gegen die Stufe zu auf. Aus diesem Grunde mussten die Wachsmodelle von Anfang an in immer gleichbleibender Wandstärke angefertigt werden, was nur durch die oben geschilderte Methode erreicht wird. Um dann aber die hierbei eventuell auftretenden Verformungsspannungen zu beseitigen, wurde jede Wachskappe unmittelbar vor dem Einbetten für 15 Minuten in ein Wasserbad von 35°C gebracht.

E. Versuchsdurchführung

Es wurden im weiteren Verlaufe zwei verschiedene Einbettungsarten berücksichtigt. Die in oben geschilderter Art modellierten und entspannten Wachsformen wurden sofort nach dem Entspannen vorsichtig vom Stahlmodell unter leichtem Andrehen abgehoben und eingebettet. Dabei wurde die Kerneinbettung variiert:

Einmal wurde nach der oben erwähnten Einbettungsart, die im folgenden Rundkerneinbettung genannt werden soll, und zum andern nach der von JANKE (14) angegebenen Methode, die er als Schichtkerneinbettung bezeichnete, gearbeitet. Die entspannte Wachsform wurde auf dem Gummieinbettgerät für die Tiegelschleuder der DEGUSSA festgewachst und anschliessend vorsichtig mit Hilfe eines feinen Haarpinsels mit Netzmittel Tephel (Chemie-Werk Grünau), in sehr geringer Konzentration - wenige Tropfen pro Liter in Wasser gelöst - innen und aussen vollständig bestrichen. Das Netzmittel wurde dann zum grössten Teil wieder

weggeblasen, so dass nur noch ein dünner Film auf der Wachsform haften blieb.

1. Versuchsreihe (Rundkerneinbettung):

Daraufhin wurde Einbettmasse E 316 auf dem elektrischen Vibrator im genau durch Abwiegen ermittelten Verhältnis 4,5 Gewichtsteile Einbettmasse auf 1 Gewichtsteil destilliertes Wasser angerührt. Mit diesem äusserst steifen Gemisch wurde dann ebenfalls auf dem Vibrator die Rundkerneinbettung vorgenommen, wobei besonders darauf geachtet wurde, dass sich keine Luftbläschen im Innern oder am unteren Rande der Wachskappe festsetzten. Auf diesen das ganze Wachsmode'll umgebenden Einbettmassekern wurde kein weiteres Einbettmassepulver mehr aufgestreut, wie sonst normalerweise üblich. Diese Art der Verdichtung ist bei derart umfangreichen Kernen ungleichmässig, was auf den subjektiven Faktor der unterschiedlichen Zugabe des Pulvers zurückzuführen ist. Deshalb wäre eine nach dieser Methode ausgeführte Versuchsreihe starken Schwankungen unter den einzelnen Proben unterworfen. Das sollte aber vermieden werden, zumal bei zahntechnischen Güssen sowieso schon viele auf subjektiven Faktoren beruhende, aber nicht ausschaltbare Ungenauigkeiten auftreten. Aus diesem Grunde wurde der Kern aus einer derart dichten Mischung gebildet, dass nach Angabe des Herstellers genügend Expansion gewährleistet ist, ohne dass später noch deshalb Einbettmasse-Pulver aufgestreut werden musste. Nun wurden vom Beginn des Anrührens der Masse an gerechnet 30 Minuten ge-

wartet, so dass der Kern erhärtete und dabei die Abbin-
expansion stattfinden konnte. Nach Ablauf dieser 30
Minuten wurde der harte, trockene Kern mit Wasser ange-
feuchtet, um eine innigere Verbindung mit der weiteren
Einbettmasse zu erlangen und die endgültige Einbettung
in die Muffel vorgenommen. Hierzu wurde auf dem Vibrator
ein Gemisch aus Einbettmasse und destilliertem Wasser
im Verhältnis 4 : 1 hergestellt, das in die Muffel, die
auf dem Gummi-Einbettgerät festgeklemmt stand, eben-
falls auf dem Vibrator von oben eingebracht wurde. Dann
wurde der Einbettmasse in der Muffel wiederum vom Anrüh-
ren an gerechnet 30 Minuten Zeit zur vollständigen Er-
härtung gelassen. Nach dieser Zeit wurde die Muffel
durch leichtes Abdrehen vom Gummi-Einbettgerät entfernt
und sofort zum Austreiben des Wachses und gleichzeitigen
Trocknen der Einbettmasse in einen elektrisch beheizten
Trockenofen mit dem Gusstrichter nach unten gestellt und
darin 30 Minuten belassen. Der durch einen Regler mit
Thermoelement gesteuerte Trockenofen wurde auf einer
Temperatur von 250°C gehalten. Nach dem Austrocknen wur-
de die Muffel in einen elektrisch beheizten Vorwärme-
ofen gebracht, der ebenfalls durch ein Thermoelement
gesteuert eine ständige Temperatur von 700°C aufwies.
Die Muffel wurde hierin ebenfalls 30 Minuten gelassen.
Diese Zeit dürfte ausgereicht haben, um sie gleichmässig
auch in ihrem Innern auf 700°C zu erwärmen.
Inzwischen wurde der Guss vorbereitet, der in der Tiegel-
schleuder der Fa. DEGUSSA vorgenommen wurde. Der Antrieb

des Laufwerks wurde aufgezozen, der Kohletiegel mit ca 8 g "Degulor M" gefüllt. Etwa 2 Minuten vor dem eigentlichen Gußtermin, also nach ca 28 Minuten Vorwärmedauer der Muffel, wurde mit der Degussa-Leuchtgas-Pistole das Gussmetall im Kohletiegel geschmolzen und noch 10 Sekunden lang weiter überhitzt. Jetzt wurde die Muffel erst aus dem Ofen genommen, in die Tiegelschleuder gesetzt, der Kohletiegel in die Muffel geschoben und das Laufwerk ausgelöst. Nach dem Auslaufen der Schleuder wurde die Muffel herausgenommen und 10 Minuten in trockenes Gipspulver gelegt, um so eine langsame und gleichmässige Abkühlung zu erreichen. Erst danach wurde sie in kaltem Wasser abgeschreckt und darin einige Zeit liegen gelassen, um dadurch ein Aufweichen der harten Einbettmasse zu erreichen. Das Ausbetten wurde möglichst vorsichtig vorgenommen, indem die Muffel ringsum mit einem Gummihammer beklopft wurde, bis die ganze Einbettmasse zerbrach und damit auch das Gußstück aus der Muffel kam. Das Gußstück wurde nun unter fliessendem Wasser mit einer Bürste von groben Einbettmasseteilen befreit und dann in heisse 10 %ige Schwefelsäure gelegt. Hierdurch wurde es erstens von sämtlichen noch anhaftenden Einbettmasseteilen und zweitens von der leichten Oxydschicht befreit. Nach dem Abspülen der Säure wurde der Gusskanal abgeschnitten und eventuell anhaftende, aus Luftblasen in der Einbettmasse entstandene Metallkugeln im Innern des Gußstücks unter der Lupe vorsichtig mit einem Schaber abgesprengt.

Jetzt war die gegossene Kappe zur Messung bereit.

Unter diesen Bedingungen wurden nun in der 1. Versuchsreihe die verschiedenen Muffelwerkstoffe variiert, und zwar wurden je 5 Kappen in Muffeln aus Messing, Kupfer, Eisen St 45.8, Remanit und als Parallelversuch in Papierzylindern aus einer Schicht normalen Schreibmaschinensapiers, die auf dem Gummi-Einbettgerät festgewachsen waren, gegossen.

2. Versuchsreihe (Rundkerneinbettung mit Asbesteinlage)

Hier wurden die Muffeln innen mit einer 0,5 mm starken Schicht Asbestpappe ausgekleidet, die an einigen Punkten mit Klebewachs befestigt wurde. Dabei kamen natürlich nur die vier metallischen Muffelwerkstoffe in Betracht; der Versuch mit dem Papierzylinder fiel weg. Im übrigen wurden dieselben Versuchsbedingungen beibehalten.

3. Versuchsreihe (Schichtkerneinbettung)

In der 3. Versuchsreihe wurde eine andere Kerneinbettung vorgenommen, die Schichtkerneinbettung nach Janke (. 14). Hierbei wurde in das Innere der entfetteten Wachskappe eine geringe Menge dünneren Gemisches aus 3 Teilen Einbettmasse und 1 Teil destillierten Wassers gebracht, so dass nach Einrütteln auf dem Vibrator eine ca 1 - 2 mm dicke Schicht den Boden der Kappe bedeckte. Nunmehr wurde auf dem Vibrator so lange Einbettmassepulver mit einem Pinsel in kleinen Mengen aufgestäubt, bis kein weiteres Pulver mehr aufgenommen wurde. Dann wurde wieder eine

kleine Menge angerührter Einbettmasse eingebracht und unter Rütteln so lange Pulver aufgestäubt, bis auch diese Schicht völlig gesättigt war. Dieser Vorgang wurde ca fünf- bis sechsmal wiederholt bis die Wachskappe mit einem dichten Kern völlig ausgefüllt war. Nun wurde noch zur Schaffung einer glatten Oberfläche die Kappe aussen mit einer dünnen Schicht angerührter Einbettmasse bedeckt auf die dann ebenfalls noch Pulver bis zur Sättigung eingerüttelt wurde. Dieser Schichtkern wurde vom Anrühren der Einbettmasse gerechnet 30 Minuten stehen gelassen, um zu erhärten. Dann wurde die endgültige Einbettung mit einem Einbettmassegemisch aus 4 Teilen E 316 und 1 Teil destilliertem Wasser auf dem Vibrator vorgenommen. Die weitere Versuchsdurchführung war dieselbe wie in Versuchsreihe 1, (Einbettung ohne Asbesteinlage und Einbettung im Papierzylinder).

Durch diese Schichtkernmethode erhält man einen maximal verdichteten Kern im Innern der Wachsform mit entsprechend grösserer Expansion. Janke (15) erhielt in einer grossen Anzahl von Versuchen nur durch diese Einbettungsart einen genauen Paßsitz, ja sogar in 5 % der Fälle eine Vergrößerung des Gussstückes. Hier war die Gesamtexpansion der Einbettmasse sogar grösser als die Kontraktion des Gussmetalls.

4. Versuchsreihe (Schichtkerneinbettung mit Asbesteinlage)

Es wurden die nach der Schichtkernmethode eingebetteten Wachsformen in die mit Asbestpappe ausgekleideten Metal

muffeln (wie bei Versuchsreihe 2) eingebettet. Hierbei wurden selbstverständlich die Versuche mit dem Papierzylinder nicht durchgeführt.

Messtechnische Bestimmung der Passgenauigkeit

Um die Passgenauigkeit dieser nach verschiedenen Methoden gegossenen Kappen festzustellen, waren genaue Messungen erforderlich. Hierzu wurden die Kappen auf das Stahlmodell aufgesetzt und der bei festem Sitz übrigbleibende Spalt zwischen dem unteren Rande der Kappen und der Stufe des Stahlmodells gemessen (sh. Bilder 4 + 5)

Bild 4:

Rundkerneinbettung
in der Fe-Muffel
ohne Asbesteinlage



Bild 5 :

Schichtkerneinbettung
in der Papier-
muffel



Zu den Messungen wurde ein Messmikroskop der Firma ZEISS mit Millimeterskala verwendet, das eine Messgenauigkeit von 0,01 Millimeter besitzt, wobei sogar noch 0,005 Millimeter geschätzt werden können. Die Kappen wurden auf dem Stahlmodell waagrecht unter das Objektiv gelegt, wobei das Licht von der Seite in einem Winkel von ca 45° einfiel, so dass die Ränder der gegossenen Kappe und der Stufe des Stahlmodells sich durch die Schattenbildung im Spalt scharf von der gleichmässig beleuchteten Umgebung abhoben. An jeder Kappe wurden vier Messungen an festgelegten Punkten durchgeführt (Bild 6).

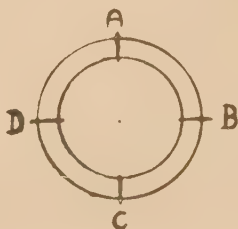


Bild 6 :

Messpunkte an der Kappe mit
der Aufsicht von unten

Dass man aus dieser gemessenen Spaltbreite auch unmittelbar auf die Grösse der Kontraktion der gegossenen Kappe schliessen kann, ergibt Bild 7 und die folgende Überlegung:

Die Maße des Stahlmodells betragen, gemessen in mm:

unterer Radius = R = 5 mm

oberer Radius = r = 4 mm

Höhe des Kegels-
stumpfes = h = 10 mm

Hieraus und aus der gemessenen Spaltbreite S lässt sich der Betrag X bestimmen, um den sich der untere Radius d

kontrahierten Kappe R_s , gegenüber R verkleinert hat.

$$x : S = (R - r) : h$$

$$x = \frac{(R - r) \cdot S}{h}$$

$$x = \frac{1}{10} \cdot S$$

$$x = \frac{S}{10}$$

Damit ist also der untere Radius der kontrahierten Kappe R_s , durch die gemessene Spaltbreite festgelegt:

$$R_s = R - \frac{S}{10}$$

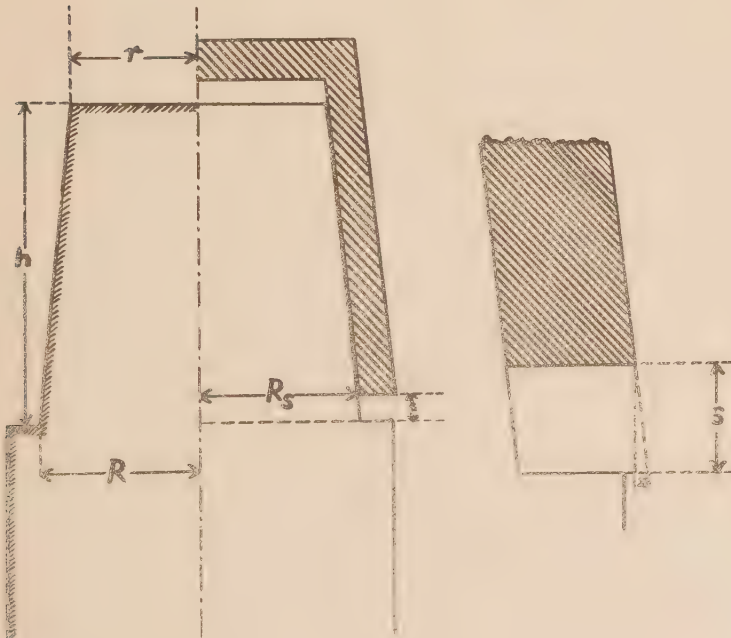


Bild 7 : Verhältnisse am Stahlmodell

Aus den bei jeder gegossenen Kappe vorgenommenen vier Messungen wurde ein Mittelwert gebildet. Da für jeden einzelnen Typ fünf Kappen gegossen worden waren, konnte nun aus diesen Mittelwerten ein Gesamtmittelwert für die Spaltbreite genommen werden.

(sh. Tabellen 2 - 5)

Tabelle 2

Rundkerneinbettung

Muffel- werkstoff	Spaltbreite (mm)				Mittelwert	Gesamt- mittelwert
Ms 63	0,23 / 0,22 / 0,20 / 0,24	0,22	0,35	0,44 / 0,46 / 0,47 / 0,48	0,46	
	0,33 / 0,37 / 0,34 / 0,36	0,35				
	0,45 / 0,41 / 0,40 / 0,42	0,42				
	0,33 / 0,25 / 0,25 / 0,28	0,28				
Cu	0,41 / 0,38 / 0,45 / 0,44	0,42	0,38	0,43 / 0,40 / 0,41 / 0,37	0,40	
	0,44 / 0,45 / 0,37 / 0,37	0,40				
	0,30 / 0,30 / 0,37 / 0,31	0,33				
	0,32 / 0,33 / 0,32 / 0,36	0,34				
Remanit	0,40 / 0,40 / 0,40 / 0,34	0,39	0,39	0,38 / 0,37 / 0,35 / 0,36	0,37	
	0,44 / 0,43 / 0,40 / 0,45	0,43				
	0,46 / 0,50 / 0,46 / 0,44	0,46				
	0,33 / 0,30 / 0,30 / 0,33	0,31				
St 45.8 (Fe)	0,40 / 0,39 / 0,32 / 0,37	0,38	0,43	0,37 / 0,35 / 0,33 / 0,37	0,36	
	0,56 / 0,54 / 0,49 / 0,53	0,53				
	0,52 / 0,58 / 0,57 / 0,56	0,56				
	0,32 / 0,34 / 0,38 / 0,30	0,34				
Papier	0,20 / 0,21 / 0,22 / 0,20	0,21	0,18	0,24 / 0,21 / 0,19 / 0,20	0,21	
	0,19 / 0,19 / 0,17 / 0,17	0,18				
	0,11 / 0,12 / 0,14 / 0,17	0,14				
	0,15 / 0,16 / 0,17 / 0,16	0,16				

Tabelle 3

Rundkerneinbettung mit Asbesteinlage

Muffel- werkstoff	Spaltbreite (mm)	Mittelwert	Gesamt- mittelwert
Ms 63	0,36 / 0,32 / 0,33 / 0,30	0,33	0,31
	0,35 / 0,31 / 0,31 / 0,31	0,32	
	0,29 / 0,33 / 0,30 / 0,31	0,31	
	0,32 / 0,29 / 0,29 / 0,30	0,30	
	0,33 / 0,35 / 0,26 / 0,30	0,31	
Cu	0,32 / 0,31 / 0,34 / 0,34	0,33	0,37
	0,32 / 0,37 / 0,32 / 0,31	0,33	
	0,40 / 0,38 / 0,41 / 0,36	0,39	
	0,47 / 0,40 / 0,37 / 0,49	0,43	
	0,43 / 0,39 / 0,31 / 0,37	0,37	
Remanit	0,39 / 0,41 / 0,46 / 0,43	0,43	0,38
	0,36 / 0,43 / 0,45 / 0,38	0,40	
	0,33 / 0,30 / 0,31 / 0,31	0,32	
	0,35 / 0,33 / 0,32 / 0,32	0,33	
	0,44 / 0,44 / 0,41 / 0,42	0,43	
St 45.8 (Fe)	0,50 / 0,47 / 0,49 / 0,47	0,48	0,44
	0,38 / 0,40 / 0,41 / 0,37	0,39	
	0,46 / 0,43 / 0,45 / 0,47	0,45	
	0,40 / 0,42 / 0,45 / 0,43	0,43	
	0,46 / 0,42 / 0,47 / 0,47	0,46	

Tabelle 4

Schichtkerneinbettung

Muffel- werkstoff	Spaltbreite (mm)	Mittelwert	Gesamt- mittelwert
Ms 63	0,31 / 0,28 / 0,28 / 0,29 0,28 / 0,31 / 0,31 / 0,30 0,17 / 0,20 / 0,19 / 0,18 0,25 / 0,24 / 0,28 / 0,25 0,23 / 0,20 / 0,22 / 0,20	0,29 0,30 0,19 0,26 0,21	0,25
Cu	0,18 / 0,19 / 0,19 / 0,18 0,46 / 0,44 / 0,44 / 0,41 0,29 / 0,23 / 0,27 / 0,34 0,26 / 0,19 / 0,19 / 0,23 0,29 / 0,26 / 0,31 / 0,32	0,19 0,44 0,29 0,22 0,30	0,29
Remanit	0,36 / 0,33 / 0,40 / 0,34 0,36 / 0,39 / 0,34 / 0,36 0,29 / 0,35 / 0,29 / 0,29 0,28 / 0,27 / 0,26 / 0,28 0,29 / 0,29 / 0,25 / 0,25	0,36 0,37 0,31 0,27 0,27	0,32
St 45.8 (Fe)	0,28 / 0,35 / 0,33 / 0,30 0,36 / 0,32 / 0,34 / 0,36 0,39 / 0,41 / 0,41 / 0,42 0,34 / 0,29 / 0,32 / 0,30 0,36 / 0,36 / 0,35 / 0,35	0,32 0,35 0,41 0,31 0,35	0,35
Papier	0,17 / 0,17 / 0,16 / 0,15 0,12 / 0,12 / 0,12 / 0,12 0,04 / 0,04 / 0,05 / 0,03 0,07 / 0,06 / 0,05 / 0,06 0,10 / 0,10 / 0,10 / 0,09	0,16 0,12 0,04 0,06 0,10	0,10

Tabelle 5

Schichtkerneinbettung mit Asbesteinlage

Muffel- werkstoff	Spaltbreite (mm)	Mittelwert	Gesamt- mittelwert
Ms 63	0,19 / 0,17 / 0,21 / 0,21	0,20	0,21
	0,11 / 0,17 / 0,15 / 0,18	0,14	
	0,07 / 0,07 / 0,07 / 0,04	0,07	
	0,36 / 0,30 / 0,31 / 0,35	0,33	
	0,32 / 0,30 / 0,37 / 0,31	0,33	
Cu	0,23 / 0,25 / 0,35 / 0,28	0,28	0,25
	0,19 / 0,19 / 0,21 / 0,20	0,20	
	0,23 / 0,27 / 0,22 / 0,16	0,22	
	0,12 / 0,32 / 0,27 / 0,25	0,26	
	0,33 / 0,29 / 0,25 / 0,28	0,29	
Remanit	0,14 / 0,09 / 0,10 / 0,12	0,11	0,23
	0,24 / 0,32 / 0,36 / 0,29	0,30	
	0,18 / 0,19 / 0,20 / 0,16	0,19	
	0,31 / 0,31 / 0,30 / 0,29	0,30	
	0,24 / 0,25 / 0,24 / 0,24	0,24	
St 45.8 (Fe)	0,37 / 0,35 / 0,31 / 0,27	0,33	0,29
	0,23 / 0,22 / 0,24 / 0,22	0,23	
	0,21 / 0,20 / 0,20 / 0,19	0,20	
	0,35 / 0,34 / 0,27 / 0,31	0,32	
	0,41 / 0,38 / 0,35 / 0,37	0,38	

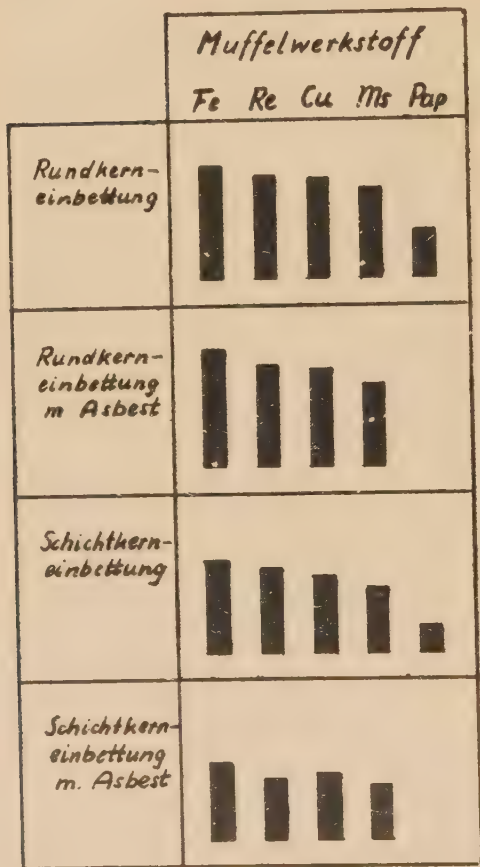
Kritische Betrachtung der Ergebnisse

Die Schwankungen innerhalb der einzelnen Versuchsreihen sind experimentell bedingt und deshalb wohl unvermeidlich. Der Mittelwert von fünf Messungen ist eine Notlösung, da für eine exakte statistische Auswertung ein Vielfaches der Messwerte benötigt würde. Trotzdem kann man aus den vorliegenden Ergebnissen einige wesentliche Schlüsse ziehen: Aus den Messungen ergibt sich, dass die Spaltbreiten innerhalb der einzelnen Versuchsreihen bei Verwendung verschiedener Muffelwerkstoffe Unterschiede aufweisen. Die in der Messingmuffel gegossene Kappe zeigt jeweils die geringste Spaltbreite im Mittel, d.h. sie passt am besten von allen in Metallringen durchgeführten Güssen. Dann folgen mit einigem Abstand die Stücke, die in der Kupfermuffel und in der Remanitmuffel gegossen wurden. Bei beiden Werkstoffen liegen die Mittelwerte der Spaltbreiten nahe beieinander. Die in der "Eisen"-Muffel gegossenen Kappen zeigen jederzeit die geringste Passgenauigkeit, der Mittelwert der bei ihnen gemessenen Spaltbreiten ist immer der höchste Wert innerhalb einer Versuchsreihe.

Die Parallelversuche mit Güssen im Papierzylinder weisen bei beiden Kerneinbettungsverfahren die weitaus geringsten mittleren Spaltbreiten auf. Diese sind noch bedeutend kleiner als bei den Versuchen mit der Messingmuffel. (Bild 8). Diese Ergebnisse legen den Gedanken nahe, dass eine Abhängigkeit der Passgenauigkeit vom Muffel-

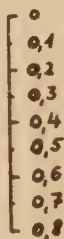
Bild 8

Spaltbreite in Abhängigkeit vom Muffelwerkstoff



Maßstab:

50:1



mm

werkstoff besteht: Auf die Abbindeexpansion konnte die Muffel in keinem Falle Einfluss haben, da immer eine Kerneinbettung vorgenommen wurde, so dass sie sich ungehindert auswirken konnte. Anders verhalten sich die Muffeln beim Erhitzen, da sie verschiedene lineare thermische Ausdehnungskoeffizienten haben. Die Gussmuffel mit der grössten thermischen Ausdehnung, also Messing, ergibt Güsse mit der kleinsten Spaltbreite bzw. mit der grössten Passgenauigkeit. Umgekehrt zeigen die in Eisen, das den kleinsten Ausdehnungskoeffizienten hat, hergestellten Güsse die grösste Spaltbreite.

Die Spaltbreite ist ein sichtbares Zeichen der Restkontraktion, d.h. der Kontraktion, die durch die thermische Expansion der Einbettmasse nicht vollständig ausgeglichen werden konnte. Da aber die thermische Expansion der Einbettmasse bei gleichem Verdichtungsgrad immer dieselbe sein muss, können für die unterschiedliche Restkontraktion der gegossenen Kappen innerhalb einer Versuchsreihe nur die verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten der vier Muffelwerkstoffe verantwortlich sein. Sie scheinen beim Vorwärmeprozess einen Einfluss auf die expandierende Einbettmasse zu haben. Mit anderen Worten: Messing mit dem höchsten Ausdehnungskoeffizienten behindert die Expansion der Einbettmasse weniger als z.B. das sich bedeutend geringer ausdehnende Eisen (St 45.8) ,

Aus den Parallelversuchen mit dem Papierzylinder wird sichtbar, dass die günstigsten Ergebnisse bei dieser

Methode erzielt wurden. Der Spalt wird hierbei äusserst klein, die Restkontraktion also fast völlig ausgeglichen. Aber gerade dieses Ergebnis wäre eigentlich anhand der angeführten Expansionswerte nicht zu erwarten. Denn, wenn man allein die thermische Expansion betrachtet, so sieht man, dass die der Einbettungsmasse E 316 kleiner ist als die von jedem der vier Muffelwerkstoffe. Deshalb ist zunächst nicht erklärlich, warum die Expansion der Einbettmasse durch das Material der Gussmuffel beeinflusst werden soll.

Dagegen scheint folgende Erklärung sehr wahrscheinlich: Bei Betrachtung der Expansionskurven von E 316 einerseits und den Muffelwerkstoffen Ms, Cu, Fe und Remanit andererseits (s. Bild 9) zeigen sich charakteristische Unterschiede. Das Anwachsen der thermischen Expansion der Muffelwerkstoffe geht in dem für uns wichtigen Bereich von 20°C - 700°C , wenn auch mit verschiedenen Steigungswinkeln für die einzelnen Werkstoffe, so doch nahezu linear vor sich. Die thermische Expansionskurve der Einbettmasse zeigt aber keinen geradlinigen Verlauf, da es sich um ein Gemisch aus zumindest zwei Grundstoffen von völlig verschiedenen Eigenschaften handelt. Die Ausdehnung von Gips erreicht ihren Höhepunkt bei 150°C mit 0,15%. Von da ab kontrahiert er sich bei weiterer Erwärmung, so dass die Kontraktion bei 250°C gerade 0 %, bei 550°C aber bereits 1,9 % beträgt, Cristobalit, der andere Bestandteil, dehnt sich stärker und einigermaßen gleichmässig

aus, seine Expansion beträgt bei 400°C schon 1,6 % und steigt auch weiterhin an. Die gesamte thermische Expansion einer Einbettungsmasse besteht also im Bereich von 20°C bis ca. 150°C aus der Summe der beiden Einzexpansionswerte von Cristobalit und Gips. Oberhalb 150°C muss zuerst die nun eintretende Kontraktion des Gipses durch die weitere Expansion von Cristobalit aufgefangen und kompensiert werden, ehe durch die dauernd anwachsende Ausdehnung von Cristobalit eine nach aussen sichtbare Expansion der Einbettmasse bemerkbar wird.

Eine relativ grosse Ausdehnung bekommt man jedoch nur, wenn man - wie schon oben erwähnt - eine ziemlich dichte Mischung verwendet, da die Expansion der Einbettmasse von der Dichte des Gemisches abhängt. Die vom Hersteller der Einbettungsmasse E 316 angegebene Expansionskurve ist nur bedingt brauchbar, da er nicht das bei der Messung verwendete Mischungsverhältnis angibt. (Er empfiehlt lediglich für die praktische Anwendung ein Gemisch von Wasser und Einbettmassepulver im Verhältnis von 1 : 3 bis 1 : 4) Vermutlich wurde die Expansionskurve an einem Gemisch mittlerer Dichte, etwa im Verhältnis 1 : 3,5 gewonnen. Für vorliegende Versuche wurde aber bei der Zweiteinbettung in die Muffel das sehr dichte Verhältnis 1 : 4 verwendet. Von dieser Voraussetzung ausgehend darf angenommen werden, dass die Einbettmasse bei den vorliegenden Untersuchungen eine stärkere thermische Expansion aufwies, als aus den Angaben der Herstellerfirma zu entnehmen war.

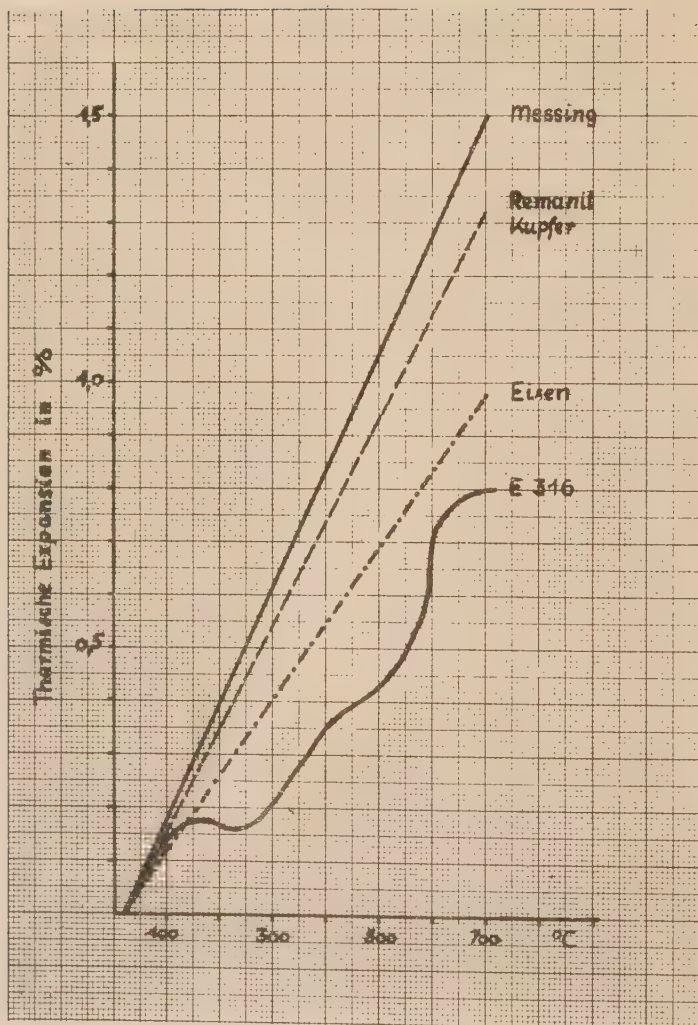


Bild 9

Die vom Hersteller angegebene Kurve überschneidet in dem Bereich von 20°C bis ca 150°C die Kurve von St 45,8, d.h. in diesem Bereich ist die Expansion der Einbettmasse grösser als die von St 45.8 (Bild 9). Nimmt man jetzt an, dass bei den vorliegenden Versuchen mit einer höheren Verdichtung der Einbettmasse gearbeitet wurde und diese eine grössere thermische Expansion hatte, so könnte im unteren Bereich der Kurve die Expansion von E 316 nicht nur grösser als die von St 45.8, sondern auch grösser als die von Remanit, Kupfer und sogar Messing sein. In diesem Fall wird in dem betreffenden Temperaturbereich die Expansion der Einbettmasse durch den sich schwächer ausdehnenden Metallmantel der Muffel zu einem Teil verhindert. Da schon in diesem Bereich die einzelnen Muffelwerkstoffe - wenn auch in geringem Umfang - sich unterscheiden; wird die Einbettmasse je nach Muffelwerkstoff verschieden stark in ihrer Expansion behindert werden. Damit wäre auch eine Erklärung gegeben für den Befund, dass die Passgenauigkeit des Gußstückes umso besser ist, je grösser der Ausdehnungskoeffizient des Muffelwerkstoffes ist. Die Passgenauigkeit eines Gusses ist aber nicht nur von der Wahl des Muffelwerkstoffes, sondern auch, wie ebenfalls sichtbar ist, von der Art der Einbettung abhängig. Der in der üblichen Weise hergestellte Rundkern ist dem Schichtkern an Kompensation der Goldkontraktion weit unterlegen. Es lässt sich daran zeigen, wie wichtig die Verdichtung der Einbett-

masse für die Expansion ist. Es ist anzunehmen, dass ein Rundkern, wie er üblicherweise hergestellt wird, nicht so stark verdichtet ist wie bei den vorliegenden Untersuchungen. Hier wurde von Anfang an eine ziemlich dichte Mischung im Verhältnis 1 : 4,5 verwendet. Damit sollte eigentlich sichergestellt sein, dass der Kern an sämtlichen Punkten dieselbe Dichte besitzt. Wenn aber der Kern, wie normalerweise üblich, aus einem dünneren Gemisch gebildet wird und dann anschliessend durch Aufstäuben von Pulver verdichtet werden soll, so erreicht man dadurch sogar das Gegenteil des Gewünschten. Das Pulver, das trotz Rüttelns nicht genügend tief eindringen kann, verdichtet nur die Oberfläche. Diese hat dann eine grössere Ausdehnung als das Innere um das Gußstück herum, obwohl gerade hier die grösste Expansion auftreten sollte. Dieses Verfahren ist demnach abzulehnen, da es nicht die grösstmögliche Abbindeexpansion gewährleisten kann. Es bietet zu wenig Vorteile gegenüber einer einzeitigen Einbettung der Wachsform und kann sogar zu Deformierungen des Hohlraumes und damit des späteren Gußstückes führen. Die Versuche nach der Schichtkerneinbettungsmethode weisen grössere Passgenauigkeit auf als die nach der Rundkernmethode. Dies ist durch die grössere Verdichtung und die daraus entstehende höhere Expansion der Einbettmasse zu erklären. Bei diesem Verfahren wird durch das Aufstäuben von Pulver auf eine dünne, ca 1 mm starke Schicht Einbettmasse bis zum Sättigungsgrad eine gleichmässige Ver-

dichtung im ganzen Kern erreicht, was dann notwendigerweise zu einer grösseren gleichmässigen Expansion führen muss.

Bei beiden Einbettungsmethoden wurden noch Güsse mit Asbestfutter durchgeführt. Die Innenauskleidung mit Asbestpappe führt zu Formkörpern mit grösserer Passgenauigkeit. Wenn auch bei Kerneinbettung eine Behinderung der Abbindeexpansion nicht in Frage kommt, so muss der Asbestauskleidung bei der thermischen Expansion der Einbettmasse doch Bedeutung beigemessen werden. Asbest lässt eine ungehinderte Ausdehnung der Einbettmasse in den, wie oben erwähnt, wichtigen niederen Temperaturbereichen zu. Auch BONSACK weist darauf hin, dass die Ausdehnung der Einbettungsmasse zeitweise grösser ist als die des umhüllenden Muffelwerkstoffes. Die Unterschiede in der Spaltbreite bei den verschiedenen Kerneinbettungsmethoden und bei Gebrauch und Nichtanwendung von Asbestpappe sind aus Bild 10 ersichtlich.

Anhand von Zahlenvergleichen lässt sich sichtbar machen, wieweit die Gußgenauigkeit von den verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Man kann sich dazu der gemessenen Spaltbreite S und des sich daraus ergebenden Differenzwertes zwischen dem ursprünglichen Radius R und dem Radius R_g der kontrahierten Gußkappe, der mit x bezeichnet wurde, bedienen. (s.Seite 22 / 23)

$$x = \frac{S}{10}$$

Ein Vergleich ist am besten möglich, wenn man die Unterschiede in der Kontraktion in Prozenten ausdrückt. Hierzu führt folgende Überlegung:

$$R : \frac{S}{10} = 100 : y$$

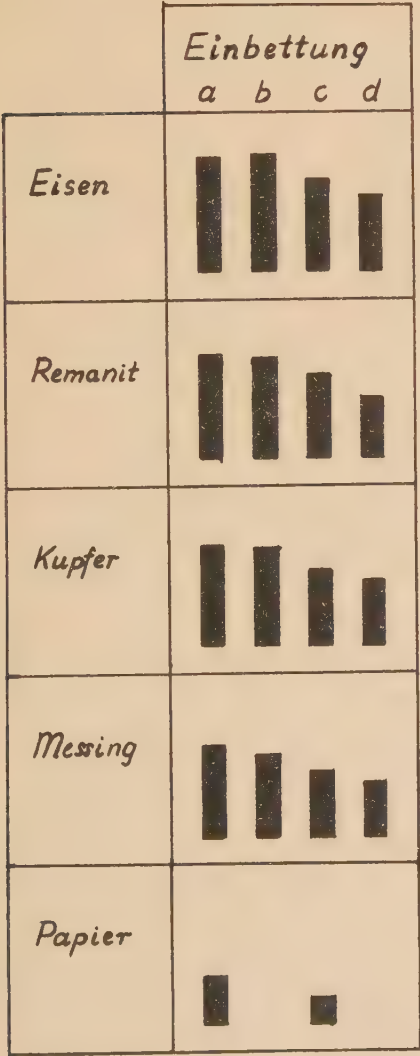
$$R = 5$$

$$y = \frac{100 \cdot S}{5 \cdot 10}$$

$$y = 2 \cdot S$$

y ist die prozentuale Kontraktion des Radius der Gusskappe.

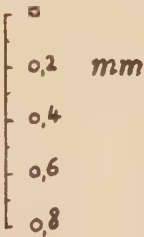
Spaltbreite in Abhängigkeit von der Art der Einbettung



Erläuterung:

- a== Rundkerneinbettung
- b = Rundkerneinbettung mit Asbestfutter
- c = Schichtkerneinbettung
- d = Schichtkerneinbettung mit Asbestfutter

Maßstab:
50:1



Man betrachtet die beiden Muffelwerkstoffe, die die grössten Unterschiede zueinander aufweisen, Messing und den weicheisenähnlichen Stahl 45.8, und vergleicht die Differenzen zwischen den prozentualen Kontraktionen (Mittelwerte) unter Berücksichtigung der vier Einbettungsmethoden:

Tabelle 6

	Rundkern- einbettung	Rundkerneinbet- tung m. Asbest	Schichtkern- einbettung	Schichtkernein- bettung m. Asbe
Y (Fe)	0,86%	0,88%	0,70%	0,58%
Y (Ms)	0,70%	0,62%	0,50%	0,42%
Differenz	0,16%	0,26%	0,20%	0,16%

Es zeigen sich zwar Streuungen in den Differenzen, im Mittelwert betragen sie aber ca 0,2%. Das bedeutet, dass bei Verwendung einer Eisenmuffel die Restkontraktion um ca 0,2 % grösser ist als bei einer Messingmuffel. Im Temperaturbereich von 20° bis 700° C beträgt der Unterschied in der thermischen Ausdehnung zwischen Messing und Eisen: 1,5% - 0,98% ca 0,5% (s.Seite 10).

Also wird die grössere Ausdehnung von Messing nur zu einem Teil ausgenützt, eben bis zu dem Punkt, an dem die thermische Expansion der Einbettungsmasse geringer wird als die der Messingmuffel.

Ausserdem sind Unterschiede zwischen den verschiedenen Einbettungsmethoden zu erkennen. Diese lassen sich ebenfalls durch die prozentualen Kontraktionswerte ausdrücken:

Tabelle 7

	Y Messing	Y Kupfer	Y Remanit	Y Eisen	Y Papier
Rundkern- einbettung	0,70%	0,76%	0,78%	0,86%	0,36%
Schichtkern- einbettung	0,50%	0,58%	0,64%	0,70%	0,20%
Differenz	0,20%	0,18%	0,14%	0,16%	0,16%

Durchweg zeigt sich zwischen Rundkern- und Schichtkern-
einbettung eine Differenz von 0,18% im Mittel. D.h.
wenn man nach dem Schichtkernverfahren einbettet, ist die
Restkontraktion um 0,18% geringer als bei dem gebräuchli-
chen Rundkernverfahren.

Zwischen der Einbettung mit und der ohne Asbestfutter
zeigt sich ein Unterschied, den man ebenfalls auf diesem
Wege deutlich machen kann:

Tabelle 8

	Y Messing	Y Kupfer	Y Remanit	Y Eisen
Schichtkern- einbettung	0,50%	0,58%	0,64%	0,70%
Schichtkern- einbettung m. Asbest	0,42%	0,50%	0,46%	0,58%
Differenz	0,08%	0,08%	0,18%	0,12%

Bei gleichbleibendem Einbettverfahren zeigen die mit As-
bestfutter eingebetteten Gußstücke bei allen Muffelmate-
rialien eine um 0,10% geringere Schwindung als bei der
Einbettung ohne Asbest.

Da nun Differenzen

- zwischen den beiden in der Ausdehnung unterschiedlichsten Muffelwerkstoffen Messing und Eisen
- zwischen den beiden Kerneinbettungsverfahren und
- zwischen Verwendung von Asbestfutter und blosser Muffel auftreten, die sich in derselben Grössenordnung bewegen,

kommt man zu folgendem Schluss:

Der Muffelwerkstoff ist nur einer der Faktoren, die die Passgenauigkeit eines Gußstückes beeinflussen (s.Bild 11).

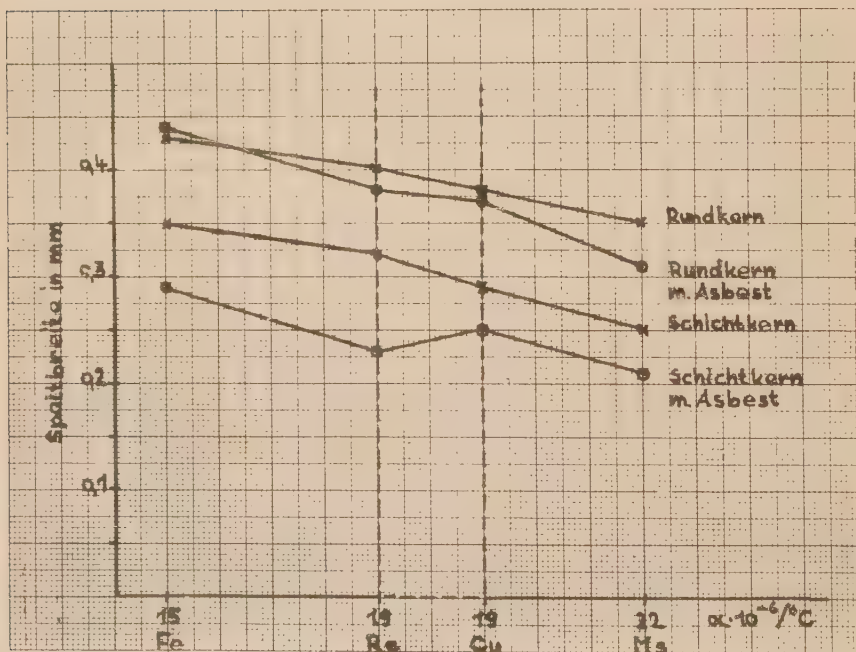
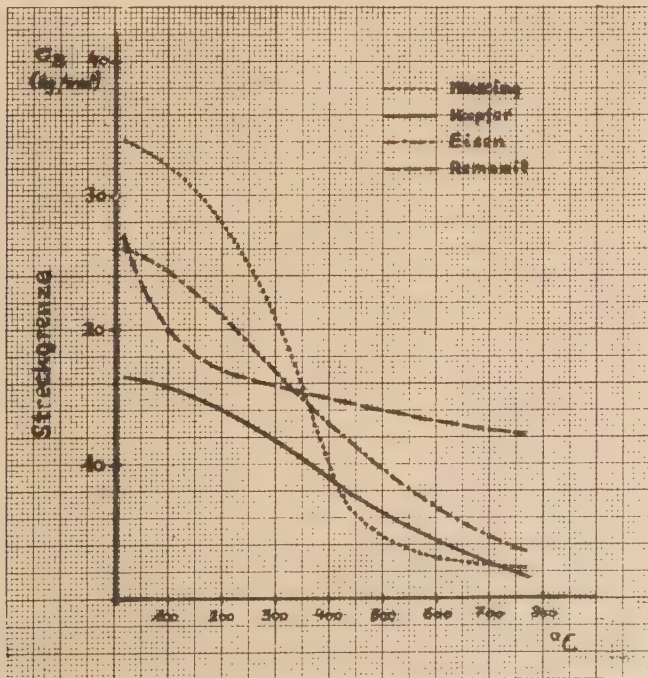


Bild 11

Schliesslich war noch zu untersuchen, ob die Warmfestigkeit des Muffelmaterials einen Einfluss auf die Paßgenauigkeit hat. Messungen zeigten, dass die Gussmuffeln aus Messing, Remanit und Eisen nach 10 bis 12 Güssen noch denselben Durchmesser aufwiesen.

Zu erwarten gewesen wäre höchstens eine leichte Aufweitung der Muffeln aus Kupfer, da die Warmfestigkeit von Kupfer in dem wichtigen Bereich von 200° bis 300° C geringer ist als die der anderen Muffelwerkstoffe. Die Versuche zeigten, dass Kupfermuffeln stark zundern. Wenn man diese Zunderschichten und die dadurch bedingte Abnahme der Wandstärke der Kupfermuffel berücksichtigt, so wäre es gewagt, von einer Aufweitung des Gußringes sprechen zu wollen. Man kann also annehmen, dass keine nennenswerte Aufweitung infolge geringerer Warmfestigkeit des Kupfers erfolgte.

Bild 12



Demnach dürfte die Warmfestigkeit der Muffelwerkstoffe keine Einwirkung auf die Paßgenauigkeit des Gußstückes haben.

Hinweise für die Praxis

Die Versuche wurden mit der Tiegelschleuder durchgeführt. Hierbei wird das Metall nicht in der Schmelzmulde der Muffel, sondern in der desoxydierenden Zone eines Kohletiegels geschmolzen. Erst nach Verflüssigung des Gußmaterials wird die heisse Muffel in die Schleuder gesetzt, worauf sofort der Schleuderprozess vor sich geht.

Es tritt hier also keine direkte Berührung der Gußmuffel mit der Schmelzflamme auf. Da aber in der Praxis auch häufig der Guss in der Hand- oder Siriuusschleuder durchgeführt wird, wobei das Gußmaterial direkt in der Schmelzmulde der Muffel mit der Flamme zum Schmelzen gebracht wird, war noch zu untersuchen, wie sich die einzelnen Muffelmaterialien hierbei verhalten.

Messing und Kupfer haben einen ähnlichen Schmelzbereich wie die hier verwendete Goldlegierung. Es war also zu untersuchen, ob sich beim offenen Schmelzen in der Mulde der Muffelwerkstoff irgendwie verändert oder sogar selbst zum Schmelzen gebracht wird.

Es wurden Schmelzversuche in der Mulde der vorgewärmten Muffel mit Guss in der Handschleuder durchgeführt. Hierbei zeigte sich erwartungsgemäss, dass die Muffelwerkstoffe Remanit und St 45.8 keinerlei Veränderungen erfuhren,

denn deren Schmelztemperaturbereiche liegen bedeutend höher:

Remanit: Liquiduspunkt d. Schmelzintervalls 1302°C

St 45.8: " " " 1442°C

Für reines Eisen liegt der Schmelzpunkt bei 1539°C

Aber auch die Schmelzversuche in der Messing- und Kupfermuffel zeigten, dass keine Veränderungen am Gußring auftraten, auch nicht, als zur Kontrolle noch in der Schmelzmulde der Messingmuffel Gußplättchen aus Messingblech zum Schmelzen gebracht wurden.

Der Schmelzpunkt für Kupfer liegt bei 1083°C

Das Schmelzintervall von Messing M_s 63 zwischen 900-910°C

Dass das Muffelmaterial in den beiden letzten Fällen ebenfalls nicht angeschmort war, hängt wohl mit der Einstellung der Flamme zusammen. Wenn man mit verhältnismässig spitzer Flamme erhitzt, liegt die grösste Hitze in der Mitte und Tiefe der Schmelzmulde, und die von der Mulde abprallende Flamme, die dann nach aussen an den Muffelrand gelangt, besitzt nicht mehr die zum Anschmelzen des Gußringes nötige Temperatur. Das schliesst aber nicht aus, dass bei Verwendung einer übermässig grossen Schmelzflamme (Rauschflamme) Messing- und auch Kupfermuffeln nicht doch zum Schmelzen gebracht werden können. Es ist also aus Gründen der unbedingten Sicherheit beim Gußvorgang zu empfehlen, bei Verwendung von Messing- oder Kupfermuffeln den Guß in der Tiegelschleuder vorzunehmen.

Ausserdem war noch zu untersuchen, wie sich eine andere Einbettungsmasse von geringerer Härte und Festigkeit als E 316 bei Verwendung von Papierzylindern verhält. Die Einbettungsmasse E 316 ist ursprünglich besonders für den Einstückguss geschaffen worden und besitzt deshalb auch eine besonders grosse Härte, die den hierbei gestellten Anforderungen genügt.

Es wurden wieder Nachskappen, wie früher beschrieben, nach dem Rundkerneinbettungsverfahren in einen Papierring eingebettet, nur wurde in diesen Vergleichsversuchen die Einbettungsmasse "Duroterm" der Fa. Bayer verwendet, die nicht so fest ist. Auch diese Gußformen wurden nach 30 Minuten Trocknen und Auswachsen bei 250°C in den auf 700°C erhitzten Vorwärmeofen gebracht und dort für 30 Minuten belassen. Nach dem Vorwärmen zeigten zwei dieser Einbettungsmassekörper schon leichte Risse an der Oberfläche und wurden deshalb vom Guß ausgeschlossen. Eine Gußform zerbrach in der Muffelzange beim Einsetzen in die Schleuder, ohne dass besonders grosser Druck angewendet worden wäre. Die übrigen zwei Gußformen mit äusserlich einwandfreiem Befund wurden zum Guss verwendet. Sie ergaben fehlerfreie Güsse. Gussfahnen, die auf Risse in der Einbettungsmasse schliessen liessen, traten nicht auf. Von insgesamt fünf Versuchen waren also nur zwei erfolgreich. Daraus lässt sich entnehmen, dass bei Verwendung eines Papierringes statt einer Metallmuffel nur Einbettungsmassen mit hinreichender Härte zum Gebrauch kommen sollten. Der Verwendung einer Papiermuffel ist allerdings

durch die Grösse des Gußstückes, die Menge des Gußmaterials und die Grösse des ganzen Einbettmassekörpers eine Grenze gezogen. Aber für kleinere Gußobjekte wie Gussfüllungen und Vollgusskronen lässt sich die Papiermuffel ohne weiteres empfehlen.

Zusammenfassung

Vorliegende Versuche erfolgten nicht in der Absicht, bisher verborgene "Fehlerquellen" auszu schliessen, sondern bei allgemein üblichen Verfahren auftretende Gesetzmässigkeiten festzustellen. Es war deshalb nicht beabsichtigt, durch Anwendung entsprechender Einbettmassen und weiterer Arbeitgänge die Metallschwindung beim Guss völlig zu kompensieren.

Unter Berücksichtigung verschiedener Muffelwerkstoffe und Einbettungsmethoden wurden auf ein Stahlmodell passende Kappen gegossen. Anhand durchgeführter Messungen ergab sich:

1. Die Gußgenauigkeit ist abhängig von der Wahl des Muffelwerkstoffes. Hierbei ist die thermische Expansion des Werkstoffes ausschlaggebend. Von den zur Untersuchung gelangten Materialien weist Messing die grösste Ausdehnung auf, und dementsprechend besitzen auch die in der Messingmuffel gegossenen Kappen die grösste Passgenauigkeit. Die in letzter Zeit häufig verwendete Gußmuffel aus hitzebeständigem Stahl (Remanit) und die Muffel aus Kupfer zeigen - entsprechend ihrer etwa gleichen

thermischen Expansion - bei den Güssen ungefähr gleiche Passgenauigkeitswerte. Dennoch scheint Remanit empfehlenswerter, weil Kupfer stark zundert. Am ungünstigsten erweist sich die in der Praxis häufig verwendete Eisenmuffel, da Eisen den geringsten Ausdehnungskoeffizienten hat.

Die weitaus besten Ergebnisse zeigen aber die Güsse, bei denen keine Metallmuffel verwendet wird, die die Expansion der Einbettmasse hemmen kann. Das erreicht man durch Verwendung eines Papierringes zum Einbetten, der beim Vorwärmen verbrennt. Dieses Verfahren kann aber in der Praxis nur bei kleineren Gussobjekten angewendet werden, da ihm in der Festigkeit der Einbettmasse Grenzen gezogen sind. Deshalb kann man auf die Metallmuffel nicht restlos verzichten.

2. Die Passgenauigkeit ist abhängig von der Art der Einbettung. Sowohl die Grösse der Abbindeexpansion wie die der thermischen Expansion der Einbettmassen hängt von der Dichte des verwendeten Gemisches ab. Da aus praktischen Gründen die Verdichtung eines angerührten Gemisches begrenzt ist - die Masse soll noch ein gewisses Fliessvermögen besitzen, um die Wachsform völlig und ohne Deformierung zu umhüllen -, bedient man sich des nachträglichen Aufstäubens von Einbettmassepulver zur weiteren Verdichtung. Hierbei erweist sich das Schichtkerneinbettungsverfahren nach JANKE

vorteilhafter als das meist angewandte Kerneinbettungsverfahren. Die Einbettmasse ist beim Schichtkernverfahren optimal verdichtet. Daraus ergibt sich durch höhere Expansion ein stärkerer Ausgleich der Abkühlungskontraktion des Gussmaterials, was einer grösseren Passgenauigkeit gleichkommt.

3. Ausserdem hängt die Gussgenauigkeit ab von der Asbestauskleidung der Metallmuffel. Die Asbestpappe gewährleistet die beim Abbindeprozess auftretende Expansion der Einbettmasse. Ausserdem sichert sie eine geringere Behinderung der thermischen Expansion bei der Vorwärmung.

Insgesamt ergibt sich, dass der schon oft gelöst erscheinende Vorgang des Giessens durch viele Faktoren kompliziert wird, von denen hier nur einige herausgegriffen und untersucht wurden.

- (1) BONSACK, CH.: Der heutige Stand des Gußproblems.
Dtsch.Zahnärztl. Zschr. 1953 Nr.1 und 2
- (2) DANZ, Christina: Einfluß der Verdichtung auf die Einbettmassen beim Vorwärmen.
Diss.Frankfurt 1934
- (3) DEUTSCHES KUPFER-INSTITUT : "Messing" DKJ Berlin-Charlottenburg 1953
- (4) FABIAN, Hch.: Metall- oder Papierzylinder?
Zahnärztl.Rdschr. 1930 Nr. 17
- (5) FLAUMENHAFT, E.: Arbeitsmethode zur möglichst guten Ausnutzung der Expansion der Einbettungsmasse beim Gießen der Füllungen.
Dtsch.Zahnärztl.Wschr. 1934 Nr.13
- (6) GEIER, W.: Erzielung von Qualitätsgüßen bei vereinfachtem Gußverfahren.
Zahnärztl.Rdsch. 1932 Nr. 39
- (7) GERLACH, H.P.: Über die Kompensation von Kontraktionsercheinungen im Metallgußverfahren.
Zahnärztl.Rdsch. 1932 Nr. 51
- (8) GERLACH, H.P.: Thermovolumetrische Untersuchungen an Einbettmassen im zahnärztlichen Gußverfahren.
Verlag H.Meusser, Berlin 1935
- (9) GERLACH, H.P.: Beiträge zur Materialienkunde I
Dtsch.Zahnärztl. Wschr. 1932 Nr. 21
- (10) GMELIN, : Handbuch der anorg.Chemie, System Nr.60
Kupfer Verlag Chemie Weinheim, 8.Aufl.1955
- (11) GRASSL, J.F.: Verbesserung der Oberfläche von Güßen durch Netzmittel und Volumeneinbettung.
Dtsch.Zahnärztl.Zschr. 1954 Nr. 18
- (12) HAN, Dije Siong: Experimentelle Untersuchungen zur weiteren Klärung des Gußproblems.
Dtsch.Mschr.Zahnheilk. 1930 Nr. 6
- (13) HEHRING, H.: Die prozentualen linearen Veränderungen eines Palliaggusses in Abhängigkeit von verschiedenen Einbettmethoden.
Diss. Berlin 1955
- (14) JANKE, Gg.: Sichere Präzisionsgüsse mit einfachen Mitteln hergestellt.
Dental-Labor 1953 Nr.4
- (15) JANKE, Gg.: Gußfüllungen nach dem Kupferring-Wachsabdruck-Modellgußverfahren.
Dtsch.Zahnärztl.Zschr. 1955 Nr.23
- (16) LANGER, A. : Problem der einwandfreien Herstellung der MOD - Gußfüllung.
Zahnärztl.Welt 1949 Nr. 16
- (17) v.LEDNICZER, S.: Die Gummiküvettenmethode.
Zschr. Stomat. 1932 S.1470 ff.

- (18) RAU, G.: Bleibt die Form beim zahntechnischen Guß
ähnlich?
Diss. Tübingen 1949
- (19) RIGBERS, W.: Über Vorbedingungen des Präzisionsgusses.
Diss. Frankfurt 1934
- (20) SCHEU, C.H.: A. New Precision Casting Technic.
Journ. Am. Dent. Ass. 1932 Vol. 19
- (21) SCHUBERT, L.: Über Materialien.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 1933 Nr. 4
- (22) SPANNER, J.: Grundlagen der Gußtechnik-
Schwz. Mschr. Zahnblk. 1933 Nr. 1
- (23) TAYLOR, PAFFEN-
BARGER & SWEENEY: Dental Inlay Casting Investments:
Physical properties and a specification.
Journ. Am. Dent. Ass. 1930
- (24) THIELEMAN, K.: Zur Frage der Herstellung von umfassenden
Goldgüssen.
Zahnärztl. Rdsch. 1930 Nr. 43
- (25) TRURNIT, F.: Über die Kontraktion des Goldes beim Gießen
von Füllungen und Brücken.
Diss. Frankfurt 1921
- (26) WEIKART, P. Leitfaden der Werkstoffkunde.
C. Hanser-Verlag, München 1950
- (27) WEISS, J.: Über das Gießen von Goldeinlagen.
Zschr. Stomat. 1932 Nr. 7
-

Zum Schluss meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. F. Jung, für die Überlassung des Themas und seine freundliche Unterstützung meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Der Firma DEGUSSA, Pforzheim, und dem Leiter ihres Metallographischen Laboratoriums, Herrn Dr. E. Wagner, bin ich für die Möglichkeit, den praktischen Teil meiner Arbeit dort durchführen zu können, zu grossem Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Am 27. März 1934 wurde ich als Sohn des Prokuristen Artur Klumpp und seiner Ehefrau Pauline, geb. Steitz in Pforzheim geboren.

Hier besuchte ich von 1940 bis 1944 die Volksschule und anschliessend das humanistische Reuchlinggymnasium, wo ich am 16. März 1954 die Reifeprüfung bestand.

Im Sommer-Semester 1954 immatrikulierte ich mich an der Universität Tübingen und begann das Studium der Zahnheilkunde. Am 7. März 1956 legte ich dort die zahnärztliche Vorprüfung ab. Nach einem weiteren Semester in Tübingen liess ich mich im Winter-Semester 1956/57 an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz einschreiben. Hier studierte ich die noch notwendigen vier Semester und legte am 11. Dezember 1958 die zahnärztliche Prüfung ab.

Seit dem 15. Januar 1959 bin ich als Volontär-Assistent in der prothetischen Abteilung der Klinik für Zahn-Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Mainz beschäftigt.

